

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ МЕТАЛЛА В ИОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Кочергина Ю.А.¹, Карьев Л.Г.², Скородумов П.А.¹

Руководитель – д. ф.-м. н., профессор Федоров В.А.

¹ Тамбовский государственный университет им. Г.Р.Державина, г. Тамбов,
feodorov@tsu.tmb.ru

² Ямало-Ненецкий филиал Тюменского государственного нефтегазового
университета, г. Новый Уренгой, jukova_knp@mail.ru

Экспериментально установлено, что термоэлектрическое воздействие на поверхности ионных кристаллов различной кристаллографической ориентации приводит к появлению структурных изменений в виде новообразований аморфного вещества [1].

Целью данной работы является исследование структуры и свойств ионных кристаллов, легированных металлом при термоэлектрическом воздействии.

Исследованию подвергались образцы NaCl, LiF размером 20×8×(2-3)мм, которые выкалывались из крупных кристаллов по плоскостям спайности. Каждый образец раскалывали на две части по плоскости (001), между которыми помещали золотую проволочку диаметром ≈ 40 мкм. Затем образец закрепляли между электродами. Электрическое поле было ориентировано нормально к плоскости (001). Комплекс «кристалл-металл» помещался в печь, где осуществлялся его нагрев до 873 К со скоростью 200 К/ч. После чего образец в течение часа выдерживали при заданной температуре и напряжении между электродами 400 В. Сила тока при этом составляла 10-20мА. Охлаждали образцы со скоростью 50 К/ч вместе с печью. После охлаждения образцы раскалывали по плоскости (100) для проведения микроскопических исследований.

При исследовании поверхностей (100) было обнаружено, что Au диффундирует в кристалл. Это сопровождается образованием несплошностей, которые представляют собой полости, ограниченные криволинейными поверхностями второго порядка. Средняя величина вскрытия полостей составляет от 30 до 120 мкм, максимальная глубина полостей в кристалле достигает $\sim 0,8$ мм для NaCl. Для LiF средняя величина вскрытия полостей составляет от 50 до 100 мкм, максимальная глубина в кристалле достигает ~ 1 мм.

Во всех случаях в вершинах полостей наблюдали частицы вещества, которые приводят к возникновению микротрещин по плоскостям (110), $(\bar{1}10)$ и дополнительных сколов вблизи вершины по плоскостям (011), (101), $(\bar{1}01)$, $(0\bar{1}1)$. Это связано с возникновением термоупругих

напряжений из-за разницы коэффициентов термического расширения кристалла и частиц, находящихся внутри полости.

Использование ИК-Фурье спектрометра позволило получить спектры пропускания для кристаллов LiF в исходном состоянии и после легирования в условиях термоэлектрического воздействия. Отмечено снижение коэффициента пропускания в диапазоне длин волн 7,7-9 мкм ~ на 12% и в области максимумов 12,1 мкм и 13,29 мкм ~ на 7%.

Элементный анализ частиц показал наличие металла (Au) и матричных элементов (Na, Cl). При исследовании распределения элементов в направлениях {100}, {011} обнаружено увеличение содержания золота в области границы перехода до 26 At%. Концентрация Au в объеме кристалла достигает 1-2 At%.

Морфологические изменения поверхностей кристаллов с внедренными металлическими частицами при термоэлектрическом воздействии обусловлены протекающими химическими твердофазными реакциями, а также процессами диффузии. На ранних стадиях нагрева преобладает примесная проводимость, что способствует ускорению процессов диффузии металла. Как результат появление частиц металла, внедренных в кристаллическую решетку. Подтверждением существования частиц Au в кристалле может быть уменьшение коэффициентов пропускания в ИК диапазоне. С увеличением температуры возрастает вероятность химических реакций. На примере NaCl, взаимодействие металла с хлором приводит к образованию хлорида золота. Это химическое взаимодействие является основной причиной, разрушающей кристаллическую решетку хлорида натрия. Кроме того, плотность соединений золота (~4,7 г/см³) больше в сравнении с плотностью хлорида натрия (~2,165 г/см³). Из-за различия объемов образующегося вещества и исходного, а также сгорания Na появляются пустоты в кристаллической решетке в виде полостей.

При исследовании поверхности (001) кристаллов LiF с частицами Au было обнаружено появление игольчатых кристаллических структур на границе кристалл-металл, что связано с распределением центров кристаллизации (частиц Au) по поверхности (001) в ходе эксперимента и последующей кристаллизацией при охлаждении образца.

Далее были исследованы механические свойства кристаллов с внедренными частицами металла. Исследования проведены на жесткой испытательной машине Instron 5565. Образцы NaCl, LiF с частицами испытывали на сжатие со скоростью движения траверсы 0,1 мм/мин.

Различие образцов (исходных и термообработанных с частицами) сказывается на деформационных параметрах, таких как предел упругости, предел прочности, общая величина деформации и среднее значение коэффициента упрочнения (для образцов с частицами Au изменяются в сторону увеличения).

Изменение деформационных параметров, таких как модуль упругости, предел прочности и среднее значение коэффициента упрочнения, кристаллов с частицами обусловлено в первом случае внедрением частиц Au в кристаллическую решетку и во втором – закреплением, дислокаций примесными атмосферами.

При сжатии ЩГК пластическое течение локализуется в определенных зонах. Выделяют [2] несколько стадий, на каждой из которых развитие разрушения обусловлено движением очагов пластического течения с различными скоростями, характерными для каждой стадии. В случае исследования ионных кристаллов с частицами Au, вероятно, происходит замедление движения таких зон локализованной пластической деформации. В результате чего имеют место эффекты упрочнения и увеличения общей деформации исследуемых образцов.

Кроме того, проводилось исследование электрофизических свойств кристаллов NaCl, LiF с имплантированным Au. При изучении характера частотной зависимости диэлектрической проницаемости исследуемых образцов обнаружено её количественное изменение, при этом характер зависимости не изменяется. Диэлектрическая проницаемость для NaCl с частицами Au возрастает практически в 2 раза. Для LiF с частицами Au имеет место незначительное снижение этой величины $\approx 10\%$.

При повышении температуры в ходе эксперимента в исследуемых образцах LiF+Au и NaCl+Au протекают твердофазные химические реакции. В результате образуется фторид Au в кристаллах LiF и хлорид Au в кристаллах NaCl. Так как диэлектрическая проницаемость веществ является интегральной характеристикой, то можно сделать вывод о том, что диэлектрические свойства хлорида Au выше, чем диэлектрические свойства хлорида Na, а для свойств фторида Au, меньше чем фторида Li.

Литература

1. Федоров В.А., Карьев Л.Г., Иванов В.П., Николукин А.М. Поведение поверхностей сколов щелочно-галогидных кристаллов в электрическом поле при одновременном нагреве. // ФТТ, 1996, т.38, №2, с.664-666.

2. Баранникова С.А., Надежкин М.В. О локализации пластической деформации при сжатии щелочно-галогидных кристаллов. // V Международная конференция с элементами научной школы для молодежи «Микромеханизмы пластичности, разрушения и сопутствующих явлений» (MPFR-2010) 21-26 июня 2010 года, г. Тамбов. Сб. трудов. – С. 1143-1147.

*Часть исследований проведена с использованием оборудования
Центра коллективного пользования научным оборудованием БелГУ
«Диагностика структуры и свойств наноматериалов»
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(грант 09-01-97514 p_центр_a).*